

Énoncé du DS commun de physique n°6 Quelques méthodes de mesure interférométriques

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il est invité à le signaler sur sa copie et à poursuivre la composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il aura été amené à prendre.

On donne la vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Introduction

On étudie dans ce sujet deux exemples d'application de l'interférométrie : le premier concerne l'étude d'un accident d'épaisseur d'une lame transparente à faces parallèles, le second porte sur la mesure de vitesses angulaires dans le domaine aéronautique grâce aux gyrolasers. Ces deux problèmes, indépendants, sont précédés de questions préliminaires rassemblées en partie 1.

1 Préliminaires

1.1 Formation de l'image d'un objet plan par une lentille mince

On souhaite former, sur un écran (E), l'image A'B' d'un objet réel plan AB à l'aide d'une lentille convergente mince (L) de centre optique O et de longueur focale f' .

1. Indiquer succinctement sur quel phénomène repose la formation des images par la lentille et les conditions dans lesquelles on obtient une image nette non déformée.
2. Effectuer la construction géométrique de l'image A'B' à l'aide de rayons fondamentaux que l'on définira.
3. Établir la relation de conjugaison de Descartes :

$$-\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'}$$

où les positions de A et A' sont repérées algébriquement sur l'axe optique, dans le sens de propagation de la lumière.

4. Établir l'expression du grandissement γ en fonction de f' et \overline{AO} , puis de f' et $\overline{OA'}$; en déduire l'encombrement $\overline{AA'}$ en fonction de γ et de f' . Déterminer la valeur de γ et les positions de A et A' pour lesquelles $\overline{AA'}$ (positif) est minimal.
5. Application numérique : calculer $\overline{AA'}$ pour $f' = 20 \text{ cm}$, et $|\gamma| = 10$, puis pour $|\gamma| = 1$.

1.2 Modèle scalaire de la lumière

On note $a(M, t)$ l'amplitude d'une onde lumineuse dans le modèle scalaire.

6. Rappeler la nature des ondes lumineuses. Quelle grandeur représente l'amplitude de l'onde lumineuse? Quelle est son unité dans le système international?
7. Donnez succinctement les conditions de validité du modèle scalaire de la lumière.

1.3 Interféromètre de Michelson

Pour les calculs de différence de marche, on assimilera l'air au vide et on ne tiendra pas compte d'un éventuel déphasage à la réflexion sur la séparatrice.

8. Faire un schéma de principe de l'interféromètre de Michelson, en supposant la séparatrice idéale, puis définir l'interféromètre équivalent obtenu par des opérations de symétrie, de façon à simplifier l'analyse du problème.
9. *Cette question n'est pas indispensable au sujet qui suit, elle peut être momentanément omise.* Dans cette question seulement, on tient compte de l'épaisseur b de la séparatrice (quelques millimètres) et de son indice n ; on suppose que la face semi-réfléchissante S_p de la lame est la première face rencontrée par

la lumière issue de la source. On se place dans la position simple où les deux miroirs de l'interféromètre sont parfaitement perpendiculaires l'un à l'autre et forment un angle de 45° par rapport à la lame séparatrice.

a) Dans ces conditions, représenter de façon très précise les deux rayons qui interfèrent en provenant d'un rayon incident, et montrer que la lame séparatrice accroît la différence de marche entre les deux rayons par rapport à la situation de référence d'une séparatrice idéale (d'épaisseur nulle).

b) Établir l'expression de la différence de marche supplémentaire δ_s en fonction de b , n et l'angle r défini par :

$$\sin \frac{\pi}{4} = n \sin r.$$

c) Application numérique : calculer δ_s pour $b = 5,0$ mm et $n = 1,5$. Quelle est l'importance de ce résultat ?

10. Comment doit-on choisir, orienter et placer une lame compensatrice (C) de même indice que (Sp) pour annuler la différence de marche calculée à la question précédente ?

On suppose par la suite que la compensatrice annule parfaitement la différence de marche supplémentaire, et donc que la séparatrice est idéale.

11. Dans le cas d'une source monochromatique ponctuelle, décrire qualitativement et brièvement les interférences.

12. On se place dans le cas où l'angle α entre les deux miroirs de l'interféromètre équivalent est non nul et on éclaire l'interféromètre avec une source étendue et monochromatique de longueur d'onde λ .

a) Indiquer les conditions d'éclairage, et d'observation des franges. Les interférences sont-elles localisées ?

b) Représenter, sur un schéma de l'interféromètre équivalent, la marche de deux rayons lumineux incidents.

c) En effectuant un choix judicieux de repère de la position d'un point M du champ d'interférences, calculer la différence de marche, l'équation de la frange d'ordre p ; décrire la frange d'ordre p et calculer l'interfrange i . Comment appelle-t-on les franges observées ? Justifiez cette appellation.

d) Application numérique : on utilise une lentille de distance focale $f' = 20$ cm pour observer les franges sur un écran placé à $D = 2,4$ m des miroirs, déterminer à quelle condition sur l'angle α les franges sont observables à l'œil nu. On donne $\lambda = 0,6$ μm et on rappelle que la limite de résolution angulaire de l'œil est d'environ une minute d'arc.

13. On se place maintenant dans le cas où l'angle α entre les deux miroirs de l'interféromètre équivalent est nul et on éclaire l'interféromètre avec une source étendue et monochromatique de longueur d'onde λ . On note e l'épaisseur de la lame d'air équivalente.

a) Indiquer les conditions d'éclairage, et d'observation des franges. Les interférences sont-elles localisées ?

b) Représenter, sur un schéma de l'interféromètre équivalent, la marche d'un rayon lumineux incident incliné d'un angle i par rapport à la normale aux miroirs de l'interféromètre équivalent. Montrer que la différence de marche entre les rayons qui interfèrent est $\delta = 2e \cos i$. Comment nomme-t-on les franges observées ? Justifier cette appellation.

c) Exprimer le rayon $r(p)$ de la frange d'ordre p observée avec une lentille de distance focale f' , et le rayon R_k du k^{e} anneau brillant.

d) Application numérique : calculer les rayons des 4 premiers anneaux brillants pour $f' = 1,0$ m, $\lambda = 0,60$ μm et $e = 70$ μm .

2 Mesure d'une variation d'épaisseur

On considère un interféromètre de Michelson idéal dont la lame séparatrice est considérée comme infiniment fine. Il n'y a donc pas de compensatrice. La séparatrice introduit un déphasage supplémentaire égal à π pour l'une des deux ondes : celle qui s'y réfléchit dès l'entrée. On suppose en outre que les éclairagements dus à chacune des deux ondes qui émergent de l'interféromètre sont égaux ; on les note ϵ_0 . Soit M_1 le miroir fixe, M_2 le miroir chariotable et M'_2 le symétrique du miroir M_2 par la séparatrice (schéma ci-contre). L'interféromètre est situé dans l'air assimilé au vide.

Le but de ce problème est de mettre en évidence la possibilité de déceler un accident d'épaisseur d'une lame (L) transparente à faces parallèles d'indice n et de déterminer la plus petite variation d'épaisseur

décelable. On note a l'épaisseur (constante) de la lame, et b l'épaisseur supplémentaire (constante) de cette lame dans un domaine (D) de taille macroscopique.

L'interféromètre est réglé en " lame d'air ", M_1 et M'_2 étant plans et parfaitement perpendiculaires à Oy ; il est éclairé par une onde plane, monochromatique de longueur d'onde λ , arrivant avec une incidence de 45° sur la séparatrice (figure ci-contre). La direction de l'onde plane incidente est parallèle à Ox . Soit e la distance algébrique entre M_1 et M'_2 . On recueille la lumière sur un écran (E) placé en sortie de l'interféromètre, parallèlement au miroir M_1 .

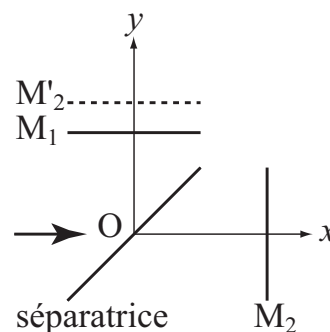


FIGURE 1 – Interféromètre de Michelson en lame d'air

14. a) Dans un premier temps, on observe l'intensité sur l'écran (E) sans la lame (L). Qu'observe-t-on? Exprimer l'intensité ε obtenue sur (E) en fonction de ε_0 , e et λ .

b) Tracer ε en fonction de e . Est-il possible d'utiliser cette variation pour placer l'interféromètre au contact optique? Proposer une solution pour remédier à ce problème.

15. On place la lame (L) contre le miroir M_1 .

a) Qu'observe-t-on sur l'écran (E)? Indiquer qualitativement à quelle condition le défaut d'épaisseur est visible.

b) Calculer la nouvelle différence de marche pour un point image du domaine (D) de la lame, et pour un point en dehors de ce domaine; en déduire l'intensité dans ces deux domaines.

c) Exprimer la différence $\Delta\varepsilon$ des deux intensités calculées dans l'hypothèse où $b \ll a$, en effectuant un développement limité au premier ordre. Mettre en évidence les conditions dans lesquelles $|\Delta\varepsilon|$ est nulle, ou maximale.

d) En supposant que les conditions sont remplies pour que $|\Delta\varepsilon|$ soit maximale, et en supposant qu'il est possible de déceler une variation d'intensité supérieure à $\varepsilon_0/5$, déterminer la plus petite variation d'épaisseur décelable b_1 .

e) Application numérique : déterminer b_1 pour $n = 1,5$ et $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$.

3 Les gyrolasers

3.1 Document

Ce document est extrait de l'article Wikipedia consulté en décembre 2017 à l'adresse <https://fr.wikipedia.org/wiki/Gyrolaser>.

Un gyromètre laser ou gyrolaser est un capteur de vitesse angulaire (gyromètre) basé sur l'effet Sagnac et mettant en œuvre un rayon laser. Celui-ci parcourt un circuit optique dans les deux sens, l'interférence des deux rayons va dépendre de la vitesse de rotation de l'ensemble.

Préambule

Le gyromètre laser est un capteur capable de mesurer une vitesse angulaire dans un plan. En associant trois gyromètres, il est possible de mesurer la vitesse angulaire d'un mobile dans l'espace. Cette mesure est utilisée dans les centrales à inertie qui équipent certains navires, avions, satellites, sous-marins. Le gyromètre laser remplace les gyroscopes mécaniques utilisés précédemment et permet l'amélioration de la précision.

Description

Le premier gyrolaser fut présenté aux États-Unis par Macek et Davis en 1963. La technologie a depuis été développée et industrialisée par un nombre restreint de sociétés autour du monde. Cette technologie est actuellement la technologie inertielle de haute performance la plus diffusée. Plus d'un million de gyrolasers sont utilisés dans le guidage inertielle et plusieurs centaines de milliers, en navigation inertielle, domaine dans lequel ils ont prouvé une très grande fiabilité, avec une incertitude inférieure à $0,01^\circ/\text{heure}$ et un temps moyen entre pannes supérieur à 300 000 heures.

Contrairement au gyromètre mécanique, le gyrolaser n'est pas sensible à l'accélération, de plus il possède une meilleure stabilité du facteur d'échelle. Enfin il est considéré comme plus fiable en raison de l'absence de pièce mécanique en mouvement. Certaines erreurs peuvent être caractérisées, comme l'erreur autour de zéro. La précision augmente lorsque la taille de l'instrument augmente.

Le gyrolaser est également très robuste et très peu sensible aux perturbations engendrées par son environnement (température, vibrations et chocs) car il repose sur une conception monolithique de sa partie optique qui est usinée au sein d'un bloc de vitrocéramique.

Principe physique

On considère un trajet optique circulaire (rayon R) dans le vide animé d'un mouvement de rotation à la vitesse angulaire ω . Deux rayons laser parcourent le trajet en sens inverse. Il est possible de montrer que la différence de chemin optique est proche de $\frac{4\pi R^2}{c}\omega$ où c est la vitesse de la lumière. Cette expression s'écrit aussi $\frac{4S}{c}\omega$ (avec S la surface limitée par le cercle décrit) et se généralise pour toutes les surfaces.

L'interférence va permettre d'accéder à la différence de chemin optique et donc à la vitesse de rotation.

La précision est directement proportionnelle à la surface S et s'accroît donc avec la taille de l'instrument.

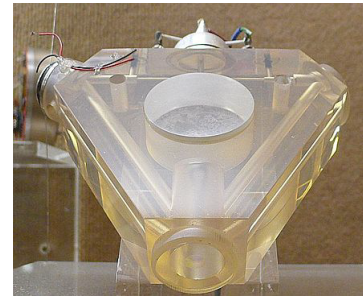


FIGURE 2 – Gyrolaser triangulaire

Particularités du gyrolaser

L'appareil comporte une partie optique et une partie électronique. Il est de forme triangulaire ou carrée. La partie optique comporte des miroirs et un tube capillaire rempli d'un mélange gazeux qui constitue le milieu amplificateur du laser. Le premier miroir est concave pour améliorer la focalisation, le deuxième est fixé sur un moteur piézoélectrique ce qui va permettre de moduler la puissance du laser et le troisième est semi-réfléchissant, ce qui permet de récupérer une partie du faisceau. Il existe également des gyromètres triaxes en forme de tétraèdre.

Exemples de véhicules ou armes utilisant le gyrolaser

- Tous les avions de transports civils de premier niveau (notamment les Airbus et Boeing) utilisent des centrales de navigation à gyrolasers.
- La plupart des avions d'armes et des avions de transport militaire (Rafale, F-15E Strike Eagle, HAL Tejas...),
- La plupart des hélicoptères d'attaque et de transport (Apache, Tigre, NH90, MH-60R et MH-60S),
- La plupart des missiles disposant d'un guidage inertiel (Scalp-EG, MDCN, JDAM, JSOW...),
- La plupart des navires militaires (FREMM, Porte-avion CdG, BPC,...) et des sous-marins (Baracuda, Rubis...),
- Les obusiers pour leur centrale inertielle de pointage (Caesar, PzH2000, Archer, ...).

Fin du document

3.2 Modélisation de la cavité du gyrolaser

On modélise la cavité du gyrolaser par le schéma de la figure 3. La cavité optique est constituée :

- de trois capillaires dont les axes, représentés sur la figure, forment un triangle équilatéral de périmètre L ,
- et de trois miroirs.

L'orientation des miroirs et un diaphragme garantissent que les rayons lumineux présents dans la cavité décrivent dans l'un ou l'autre sens le triangle formé par les axes des capillaires, en effectuant des tours successifs. La cavité est remplie d'un mélange gazeux (hélium/néon) sous faible pression. Excité par ionisation, ce mélange se comporte comme un milieu amplificateur pour les ondes lumineuses dont la longueur d'onde dans le vide est comprise dans une bande centrée sur $\lambda_0 = 633 \text{ nm}$ (bande d'émission). Il en résulte par effet laser l'apparition de deux ondes se propageant en sens opposés dans la cavité. Pour des raisons de clarté, sur la figure 3, le milieu amplificateur est supposé restreint à une partie de l'axe situé entre (M_1) et (M_3) .

Un des trois miroirs (M_1) possède un coefficient de transmission non nul et permet de recueillir une fraction de l'amplitude associée à chacune des ondes se propageant dans la cavité. Un système optique permet de faire interférer les deux ondes émergentes, la figure d'interférence est observée grâce à un dispositif photo-électrique.

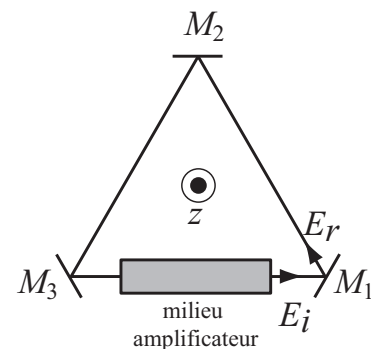


FIGURE 3 – Cavité du gyrolaser

On note f_0 la fréquence centrale de la bande d'émission correspondant à la longueur d'onde dans le vide λ_0 déjà définie, et ω_0 la pulsation correspondante. En aéronautique, l'ordre de grandeur des vitesses angulaires usuelles est compris entre $0^\circ/\text{s}$ et $100^\circ/\text{s}$.

Dans ce qui suit on fait les hypothèses suivantes :

- les ondes considérées sont supposées planes et monochromatiques; on ne tient pas compte des phénomènes de polarisation et on utilise par conséquent l'approximation scalaire;
- Le miroir a un coefficient de réflexion en amplitude r , les miroirs (M_2) et (M_3) un coefficient de réflexion r' ; r et r' sont des réels positifs inférieurs à 1. Les coefficients de réflexion en intensité sont alors $R = r^2$ et $R' = r'^2$; on suppose qu'aucune onde ne pénètre dans la cavité à travers ces miroirs;
- on admet qu'après la mise sous tension des électrodes permettant l'excitation du milieu amplificateur, on atteint rapidement un régime permanent dans lequel les amplitudes des ondes lumineuses présentes dans la cavité sont constantes; on se limite à l'étude de ce régime permanent; pour la propagation, le milieu amplificateur peut être assimilé au vide; les ondes s'y propagent à la vitesse de la lumière dans le vide et il n'induit aucun déphasage sur les ondes autre que celui dû à la propagation; à chaque traversée du milieu amplificateur, la norme de l'amplitude du champ électrique de l'onde est multipliée par le facteur $g > 1$.

3.3 Condition de fonctionnement de la cavité fixe par rapport à un référentiel galiléen

Dans cette partie, le gyrolaser est fixe par rapport à un référentiel galiléen dans lequel on se place pour effectuer l'étude. La propagation des ondes dans les deux sens est totalement symétrique. On considère une onde de pulsation ω se propageant dans le sens direct.

16. Tenir compte des réflexions et de la propagation dans la cavité pour établir deux relations entre les amplitudes complexes \underline{E}_i et \underline{E}_r de l'onde incidente et de l'onde réfléchie à la surface de (M_1), faisant intervenir r, r', g, ω, L (longueur de la cavité) et c .

17. En déduire que $rr'^2g = 1$ et que les fréquences des ondes présentes dans la cavité prennent des valeurs discrètes (modes de résonance), telles que le déphasage dû à la propagation sur un tour de la cavité soit un multiple de 2π . Déterminer l'écart en fréquence Δf_m entre deux modes successifs.

18. Les valeurs caractéristiques des gyrolasers actuels sont : $L = 33 \text{ cm}$, $g^2 - 1 = 4 \times 10^{-3}$ en régime permanent et $R = 0,998$.

a) Calculez la valeur de R' , coefficient de réflexion en intensité des miroirs (M_2) et (M_3), permettant l'émission laser dans la cavité.

b) Calculez l'écart en fréquence Δf_m entre deux modes successifs.

c) Une étude plus détaillée des processus d'émission laser montre qu'*a priori* tous les modes dont la fréquence est comprise dans la bande d'émission du milieu amplificateur et eux seuls sont susceptibles d'être présents dans la cavité. La largeur de la bande d'émission centrée sur la fréquence f_0 a pour ordre de grandeur $\Delta f_{1/2} = 1500 \text{ MHz}$. Quel est le nombre maximal de modes observables simultanément dans la cavité? À quelle condition peut-on observer un mode unique dans la cavité (fonctionnement monomode)?

d) Déterminer la variation de fréquence Δf d'un mode de fréquence f de propageant dans la cavité, si la longueur de la cavité varie de ΔL . En l'absence de système de stabilisation de la longueur de la cavité, la longueur de celle-ci peut fluctuer de $\pm 1 \mu\text{m}$, essentiellement à cause des fluctuations de température. Calculer numériquement, pour les modes susceptibles de se propager dans la cavité, l'ordre de grandeur de la variation de fréquence qui en résulte. Comparer cette variation à la largeur de la bande d'émission du milieu amplificateur. Commenter.

3.4 Fonctionnement du gyrolaser en rotation par rapport à un référentiel galiléen

Le gyrolaser est en rotation à la vitesse angulaire Ω constante par rapport à l'axe Oz fixe dans le référentiel galiléen R_g ; cet axe Oz est perpendiculaire au plan de la cavité et passe par son centre. Dans R_g , les deux sens de propagation ne sont plus symétriques. Il en résulte un écart de fréquence entre les modes de la cavité pour les deux sens de propagation.

Dans le référentiel R_g , les rayons lumineux se propagent à la vitesse c (le milieu remplissant la cavité est toujours assimilé au vide), selon des trajectoires rectilignes en dehors des réflexions sur les miroirs. Cependant, à cause de la rotation de la cavité, les rayons lumineux ne décrivent pas, globalement, une trajectoire fermée dans le référentiel R_g . On utilise les notations de la figure 4 : $A_i(t)$ désigne le sommet du miroir M_i à l'instant t dans le référentiel R_g . Le triangle équilatéral $A_1(t)A_2(t)A_3(t)$ tourne autour de l'axe Oz à la vitesse angulaire Ω . Sur la figure 4, le trait épais représente le rayon lumineux, les

traits fins représentent la cavité aux instants 0 et t_0 ; on a représenté le cercle sur lequel se déplacent les points $A_i(t)$. Les calculs seront effectués en se limitant aux termes du premier ordre en $\frac{a\Omega}{c} \ll 1$, où $a = \frac{L}{3}$ désigne le côté de cavité.

19. On considère le rayon se propageant dans le sens direct $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3$. Il quitte le miroir M_1 à l'instant $t = 0$ au point $A_1(0)$. Il atteint le miroir M_2 à l'instant t_0 en décrivant le segment $A_1(0)A_2(t_0)$ de longueur d à la vitesse c . Montrer que l'angle entre $A_1(0)O$ et $A_1(0)A_2(t_0)$ vaut $\frac{\pi}{6} - \frac{\Omega t_0}{2}$. En déduire la relation approchée pour $\Omega t_0 \ll 1$:

$$\frac{d}{a} = 1 + \frac{\sqrt{3}}{6} \Omega t_0$$

20. Déterminer les expressions de t_0 et d en fonction de a , Ω et c . L'hypothèse $\Omega t_0 \ll 1$ est-elle justifiée?

21. Montrer qu'après réflexion sur M_2 , le rayon lumineux considéré atteint le miroir à l'instant $2t_0$ au point $A_3(2t_0)$, que l'on placera approximativement sur un schéma. Dans le référentiel lié à la cavité, quel est, à l'instant $t = 3t_0$, le point atteint par le rayon lumineux parti de M_1 à l'instant $t = 0$?

22. Exprimer, en fonction de L , Ω et c , la distance L_+ parcourue dans R_g par le rayon lumineux lorsqu'il atteint le miroir M_1 après avoir effectué le trajet $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3 \rightarrow M_1$.

23. Lorsque l'onde revient en M_1 après avoir effectué un tour, elle interfère avec elle-même. La condition d'interférence constructive s'applique : le déphasage de l'onde dû à la propagation sur un tour doit être un multiple de 2π . En déduire que les fréquences des modes de la cavité en rotation par rapport à Oz pour le sens de parcours direct peuvent s'écrire sous la forme :

$$f_{+n}(\Omega) = f_{0n}(1 + K\Omega)$$

où f_{0n} est la fréquence du mode n lorsque la cavité est fixe dans R_g , et K est un facteur dont on donnera l'expression en fonction de L et c .

24. a) Montrer que pour le sens de parcours indirect, les fréquences des modes de la cavité sont :

$$f_{-n}(\Omega) = f_{0n}(1 - K\Omega)$$

b) Pour un sens de rotation donné et un mode donné, quelle est l'onde dont la fréquence est la plus élevée?

25. a) Calculer le facteur K pour une cavité de périmètre $L = 33$ cm.

b) Pour un mode déterminé de fréquence f_0 lorsque le gyrolaser est fixe, on considère les deux ondes se propageant en sens opposés dans la cavité. Calculez les écarts absolu et relatif entre les fréquences de ces deux ondes pour $\Omega = 10^\circ/\text{s}$ (ordre de grandeur rencontré en aéronautique).

c) Proposer un ordre de grandeur des valeurs maximales de Ω mesurables *a priori*; commenter ce résultat.

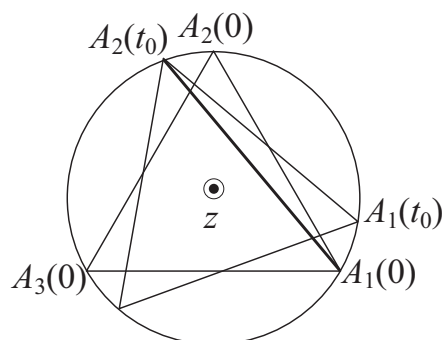


FIGURE 4 – Gyrolaser en rotation

3.5 Mesure de la vitesse angulaire Ω par interférométrie

Dans la cavité d'un gyrolaser ayant un mouvement de rotation à la vitesse angulaire Ω autour d'un axe (fixe dans un référentiel galiléen R_g) perpendiculaire au plan de la cavité, se propagent en sens opposés deux ondes de pulsations :

$$\omega_+ = \omega_0(1 + K\Omega) \text{ pour l'onde circulant dans le sens direct,}$$

$$\omega_- = \omega_0(1 - K\Omega) \text{ pour l'onde circulant dans le sens indirect.}$$

Grâce au miroir M_1 , une partie de l'énergie de ces deux ondes est extraite de la cavité. Un système optique annexe, qui n'est pas décrit ici, permet d'obtenir deux faisceaux correspondant à deux ondes quasi planes de pulsations ω_+ et ω_- , de vecteurs d'onde \vec{k}_+ et \vec{k}_- faisant entre eux un angle α petit, se propageant sans un milieu assimilé au vide. Les amplitudes de ces deux ondes sont supposées égales; l'amplitude commune est notée E_0 . On utilisera le système d'axes défini en figure 5.

26. a) Exprimer les amplitudes complexes des deux ondes sous la forme $E_+(M, t) = E_0 e^{j\omega_0 t} e^{j\psi_+(M, t)}$ et $E_-(M, t) = E_0 e^{j\omega_0 t} e^{j\psi_-(M, t)}$ en supposant que les phases $\psi_+(M, t)$ et $\psi_-(M, t)$ sont nulles en O à l'instant $t = 0$.

b) Déterminer l'intensité lumineuse résultante en tout point de la zone où les faisceaux se recouvrent, en fonction de \vec{k}_+ , \vec{k}_- , \vec{OM} , ω_0 , K , Ω et t , dans l'hypothèse où le temps de réponse du détecteur est court devant le temps caractéristique de variation des phases. Quelle est alors la caractéristique remarquable de l'intensité mesurée en un point fixé?

c) Que devient l'intensité détectée si le temps de réponse du détecteur est long devant $\frac{1}{f_0 \cdot |K\Omega|}$? Commentez ces résultats par rapport au choix d'un détecteur en vue de la mesure de Ω . On suppose par la suite que le détecteur est convenablement choisi.

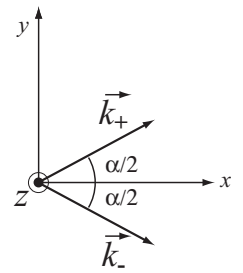


FIGURE 5 – Définitions relatives aux ondes interférant

27. a) Exprimer en fonction des paramètres du problème la fréquence du signal que détecte une cellule photoélectrique quasi ponctuelle fixe placée dans la zone de recouvrement des faisceaux.

b) Application : la fréquence mesurée est 300 Hz, on donne $K = -1,0 \times 10^{-10}$ s pour Ω exprimé en rad.s^{-1} . Calculer la vitesse de rotation du gyrolaser. Est-il possible de déterminer son sens de rotation par cette mesure?

28. a) On détecte le signal dans un plan perpendiculaire à la bissectrice des directions de propagation des deux faisceaux. Montrer que, dans un tel plan, on observe des franges rectilignes parallèles se déplaçant à une vitesse proportionnelle à Ω , le sens de déplacement étant lié au signe de Ω .

b) Exprimer dans le plan d'observation l'interfrange i et la vitesse v de déplacement du système de franges en fonction de λ_0 , α , K , Ω et c .

c) Application : on donne $\alpha = 3,0 \times 10^{-4}$ rad, K conservant la valeur précédente; on mesure $v = 1,5 \text{ m.s}^{-1}$, les franges se déplaçant dans le sens des y croissants. Calculer i et la valeur algébrique de Ω .

d) Dans la pratique, on utilise les signaux recueillis par deux cellules photoélectriques décalées d'un quart d'interfrange pour déterminer la valeur algébrique de Ω . Pour quelles raisons?